

## Mesurer en temps réel les anticipations par les marchés financiers du retournement de l'activité économique

Dans un environnement économique marqué par une incertitude accrue et des retournements conjoncturels rapides, l'analyse macroéconomique repose largement sur des modèles économétriques destinés à suivre et prévoir l'évolution de l'activité. Ces modèles, qui s'appuient principalement sur des indicateurs et enquêtes disponibles à une fréquence mensuelle ou trimestrielle, ne sont pas conçus pour intégrer en temps réel les inflexions du cycle économique. En complément, les analystes exploitent donc les variables financières qui, en principe, reflètent en continu les anticipations des marchés. Ainsi, une inversion de la courbe des taux (des taux longs inférieurs aux taux courts) signale généralement que les marchés s'attendent à un ralentissement de l'activité.

Cet article introduit un nouvel indicateur qui utilise des techniques d'apprentissage automatique et vise à mesurer la manière dont les marchés anticipent le risque de retournement du cycle économique aux États-Unis et en Europe, à partir d'un vaste ensemble de variables financières.

**Tamaki DESCOMBES, Clément TORRES, Paul SABALOT**  
Direction de la Mise en œuvre de la politique monétaire  
Service de Suivi et d'Animation des marchés

Codes JEL  
C55, E32,  
E37

21%

la probabilité implicite de récession dans deux trimestres aux États-Unis au moment des annonces de droits de douane par D. Trump en avril 2025

13%

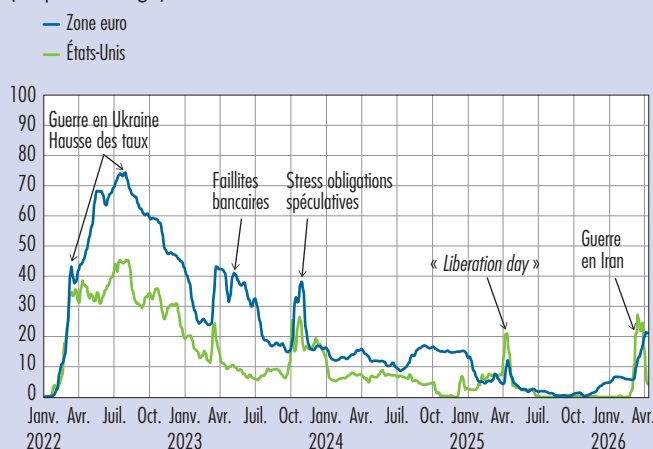
la proportion des trimestres en récession aux États-Unis depuis 1970

21%

la probabilité implicite de récession dans deux trimestres en zone euro le 14 avril 2026, dans le contexte de la guerre en Iran

### Probabilité implicite de marché d'être en récession dans deux trimestres

(en pourcentage)



Note : Cf. graphique 2 pour présentation détaillée.

Sources : Bloomberg ; modèle PICON (probabilité implicite du risque de contraction de l'activité) au 14 avril 2026, calculs des auteurs.

### Les récessions économiques comptent parmi les phénomènes macroéconomiques les plus difficiles à anticiper.

Les institutions publiques, en particulier les banques centrales, s'appuient traditionnellement sur des modèles macroéconomiques conçus pour analyser les mécanismes de transmission de la politique économique et produire des scénarios de moyen terme. Ces outils jouent un rôle central dans l'élaboration des décisions de politique monétaire et reposent en grande partie sur des données agrégées à basse fréquence. Malgré les progrès des méthodes de prévision et la richesse croissante des données disponibles, les retournements du cycle ne peuvent généralement être identifiés qu'à mesure qu'ils se traduisent dans les indicateurs conjoncturels. Cette difficulté à détecter précocement les phases de ralentissement a conduit la littérature à explorer des données alternatives qui sont susceptibles de refléter plus tôt la dégradation des anticipations sur l'état futur de l'économie.

### Les marchés financiers constituent une source d'information privilégiée pour l'analyse macrofinancière.

La disponibilité en temps réel et à haute fréquence des prix d'actifs permet aux économistes et aux analystes d'extraire des indicateurs synthétiques qui rendent compte des anticipations, de l'aversion au risque et des conditions financières. En effet, **les attentes des investisseurs concernant la trajectoire de l'économie constituent un déterminant central de la dynamique des marchés financiers.**

Sur la période 2022-2025, l'invasion de l'Ukraine par la Russie, le resserrement des conditions monétaires aux États-Unis et en Europe, les épisodes de stress bancaire, puis les annonces de hausse des droits de douane par D. Trump **ont amené les analystes et investisseurs à réévaluer à plusieurs reprises le risque de récession**, aux États-Unis comme en Europe. L'intégration du risque de retournement du cycle économique s'était reflétée dans les deux régions par un ajustement des taux d'intérêt associés à leur dette souveraine, une baisse des cours boursiers, ou encore l'appréciation des valeurs refuges.

Ces épisodes récents illustrent la façon dont les valorisations des différentes classes d'actifs (actions, obligations, dérivés ou matières premières) s'ajustent conjointement aux tensions géopolitiques, aux mesures prises par les

autorités monétaires ou budgétaires, et plus largement aux chocs financiers susceptibles de conduire les acteurs de marché à réviser leurs attentes concernant l'activité, l'inflation ou les taux d'intérêt. Les dynamiques de ces valorisations sont rarement isolées, et l'intensité de leurs interactions peut varier dans le temps en fonction du contexte macroéconomique et financier. **L'analyse de ces dynamiques conjointes constitue donc un enjeu central pour la compréhension des conditions financières et de leur transmission à l'économie réelle.**

## 1 La perception du risque de récession économique à partir des marchés financiers

### Les forêts aléatoires comme compléments aux modèles fondés sur l'inversion de la courbe des taux

Les premiers modèles formalisés d'estimation du risque de récession à partir des données de marché ont été développés à la fin des années 1980 et s'appuient principalement sur la pente de la courbe des taux, définie comme l'écart entre les taux d'intérêt à court et à long terme sur le marché obligataire souverain (Estrella et Hardouvelis, 1991, et plus récemment pour la zone euro, Sabes et Sahuc, 2023). La réduction de cet écart, voire son inversion, traduit théoriquement l'anticipation d'un ralentissement économique à venir, les investisseurs se reportant sur les obligations de maturité longue en anticipant une baisse future des taux d'intérêt et la hausse induite du prix de ces titres. Historiquement, ce type de configuration a souvent précédé les phases de récession, ce qui en fait un indicateur avancé largement utilisé pour apprécier le risque de retournement conjoncturel, même s'il relève davantage d'une mesure des anticipations des marchés que d'une véritable prévision. Ces modèles s'appuient généralement sur des approches économétriques paramétriques, telles que les modèles probit ou logit, offrent l'avantage de la simplicité, et peuvent s'enrichir de l'introduction de variables financières et macroéconomiques supplémentaires (Bussière et Lhuissier, 2024, pour la zone euro).

Nous mobilisons un modèle de **forêts aléatoires** (cf. encadré 1) **afin d'estimer une probabilité implicite de contraction de l'activité (PICON)** à partir d'un ensemble large de variables exclusivement issues des marchés

financiers et disponibles quotidiennement, **et d'intégrer les interactions complexes et non linéaires entre ces variables, qui présentent un intérêt pour l'analyse au-delà de la seule performante prédictive.**

En effet, les travaux qui tirent parti d'algorithmes d'apprentissage automatique tels que les forêts aléatoires pour prédire des événements économiques tendent à montrer que **cette famille de modèles n'offre pas systématiquement de meilleures performances prédictives hors échantillon**

**que des méthodes plus classiques**<sup>1</sup>. Cela tient notamment au fait que les récessions sont des épisodes plutôt rares, avec un historique et une fréquence d'observation limités, et une dépendance temporelle des observations avec de potentielles ruptures structurelles<sup>2</sup>.

Ainsi, dans une optique d'analyse de sentiment de marché, il est plus prudent d'interpréter nos résultats comme la **perception** du risque de récession par les marchés plutôt que comme une prévision de ce risque.

## ENCADRÉ 1

### Modéliser la probabilité du risque de récession à partir de forêts aléatoires

Notre modèle infère une probabilité implicite de récession à un horizon donné  $T$  à partir de la valorisation en temps réel des actifs financiers :

$$\text{Probabilité}(\text{Récession}_{t+T}) = \text{ForêtsAléatoires}(\text{VariablesFinancières}_t)$$

où  $\text{Récession}_{t+T}$  est une variable indicatrice 0/1, égale à 1 si une récession est observée dans  $T$  trimestres sur la base des observations financières disponibles en date  $t$ .

Pour les États-Unis, nous nous appuyons sur la définition de référence du National Bureau of Economic Research (NBER), qui repose sur une appréciation globale de l'activité économique plus large que la seule succession de deux trimestres consécutifs de croissance négative du PIB. Pour la zone euro, nous considérons comme récession technique la succession de deux trimestres avec une croissance négative ainsi que toute période de croissance négative cumulée sur trois trimestres.

Le modèle par forêts aléatoires ou *random forests* (Breiman, 2001) combine les prédictions d'un grand nombre d'arbres de décision qui, chacun, identifient des relations entre nos variables financières (cf. annexe, *Définition des variables prédictives du modèle*) et la survenance d'un épisode récessif. Chaque arbre « vote » et fournit sa prédiction : la proportion d'arbres qui signalent une récession est alors une valeur continue comprise entre 0 et 1 et qui peut s'interpréter comme une probabilité implicite de récession à l'horizon considéré.

Une valeur proche de 0 indique que, compte tenu des conditions de marché observées, la majorité des arbres du modèle associent ces conditions à un scénario d'expansion économique à l'horizon considéré, tandis qu'une valeur proche de 1 traduit une forte convergence des signaux financiers vers un scénario récessif.

Le modèle est entraîné depuis 1990 pour les États-Unis et 2000 pour la zone euro, selon la période de disponibilité des données financières utilisées pour chaque région. Dans cet article, nous présentons les résultats du modèle entraîné jusqu'à 2021 inclus, la période de prévision commençant début 2022 (cf. annexe, *Modalités d'entraînement du modèle*).

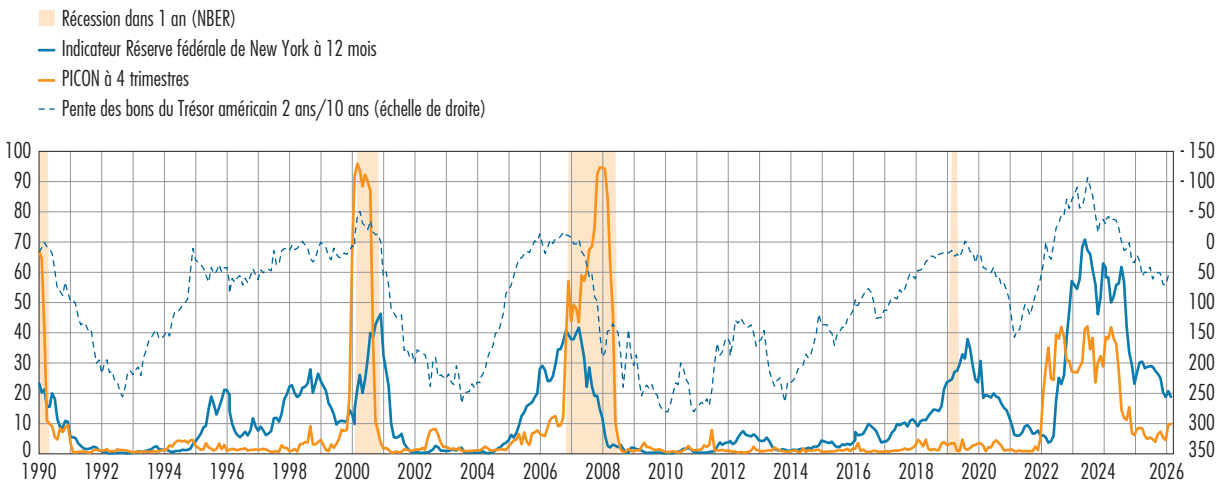
1 Cf. Beutel, List et von Schweinitz, 2019, pour une revue des performances dans la prédiction de crises bancaires; Puglia et Tucker, 2020, pour la prédiction de récessions aux États-Unis à partir de variables financières et d'indices de conjoncture depuis 1972.

2 Toutes les récessions ne se ressemblent pas et ne proviennent pas des mêmes causes. La relation entre variable prédite et variables explicatives peut changer dans le temps.

## G1 Perception des marchés du risque de récession dans un an aux États-Unis

Modèle PICON vs modèle Réserve fédérale de New York

(échelle de gauche : en pourcentage ; échelle de droite [inversée] : en points de base)



Lecture : En juillet 2023, le rendement à 10 ans était inférieur de 106 points de base au rendement à 2 ans, un niveau qui n'a pas été observé depuis les années 1980 ; la pente est alors dite « inversée ».

Notes : Dernier point au 31 mars 2026.

La pente des bons du Trésor désigne la différence entre les rendements à dix ans et ceux à deux ans.

Sources : National Bureau of Economic Research (NBER), Réserve fédérale de New York, Bloomberg ; calculs des auteurs.

### Comparaison des résultats du modèle PICON avec un modèle de référence

Nous comparons les résultats du modèle PICON à horizon quatre trimestres avec ceux du modèle de prédiction de récession dans douze mois aux États-Unis et qui fait référence, celui de la Réserve fédérale de New York<sup>3</sup> (NY Fed), et les rapportons aux récessions effectivement répertoriées par le National Bureau of Economic Research (NBER). Sur les quatre épisodes de récession depuis 1990, PICON en détecte trois avec une probabilité implicite supérieure à 50% : les récessions américaines du début des années 1990, 2000, puis en 2008, à l'instar du modèle de la Réserve fédérale (cf. graphique 1)<sup>4</sup>.

En revanche, le modèle est moins sensible à l'épisode d'inversion de la courbe des taux à l'automne 2019, puisque la probabilité de récession dépasse tout juste 15%. Si la pandémie de Covid a effectivement déclenché une récession au début de l'année suivante, l'événement

est exogène et sa prévision par les marchés un an à l'avance serait difficilement concevable.

Aussi, les deux modèles signalent un risque accru de récession avec l'inversion des courbes entre 2022 et 2024, période pourtant sans récession aux États-Unis d'après le NBER ; PICON réagit toutefois plus faiblement que le modèle de la Réserve fédérale et n'a que très ponctuellement produit un faux positif en considérant un seuil de déclenchement à 50%.

## 2 Une lecture de la probabilité implicite de récession aux États-Unis et en zone euro depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022

Résultats sur la période 2022-2025 : quatre épisodes de risque accru

En recourant à la méthodologie décrite précédemment, nous déclinons le modèle à un horizon de prédiction plus

<sup>3</sup> Modèle de régression probit, qui estime le risque de récession aux États-Unis à partir de la courbe des taux.

<sup>4</sup> Un certain niveau de « surajustement » (*overfitting*) de PICON aux données apparaît sur notre période d'entraînement entre 1990 et 2019 ; cela ne préjuge pas d'un niveau de performance plus élevé *out of sample* (hors échantillon, c'est-à-dire à partir de données distinctes de celles d'entraînement).

**court**<sup>5</sup> (récession dans deux trimestres) et l'étendons aux données de marché en zone euro. Nous comparons ainsi les prédictions entre les deux régions depuis le cycle de resserrement monétaire initié en 2022 (cf. graphique 2). Les probabilités implicites de risque de récession issues de PICON font ressortir comment les marchés financiers, tant européens qu'américains, ont ajusté leur perception du risque économique en réaction à une série d'événements clairement identifiables. Cette période fournit un cas d'usage qui illustre l'intérêt de PICON comme outil complémentaire de l'analyse macrofinancière en temps réel.

Ainsi, **après le déclenchement de la guerre en Ukraine et la crise énergétique qui s'en est suivie**, l'indicateur reflète la prépondérance de la perception d'un risque de récession, qui s'aggrave au cours de l'été 2022, alors qu'étaient intervenues les premières hausses de taux en réponse à la persistance de l'inflation et aux chocs d'offre post-Covid. Ce niveau élevé de risque perçu s'est maintenu pendant plusieurs mois cet été 2022, et ne s'est atténué que progressivement, avec une probabilité

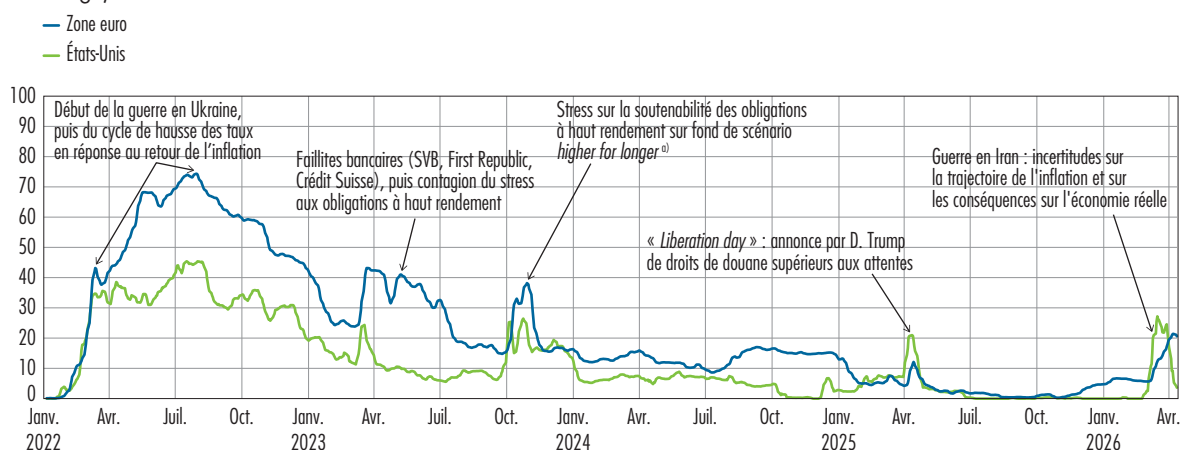
de récession durablement plus marquée en zone euro qu'outre-Atlantique.

**La faillite de la Silicon Valley Bank (SVB) le 10 mars 2023 et celle de Crédit Suisse** ont également ravivé les craintes d'une crise financière susceptible de se propager à l'économie réelle. Les craintes de récession ont davantage persisté en zone euro qu'aux États-Unis, ce qui s'est répercuté durablement sur les actions bancaires et les indices obligataires à haut rendement<sup>6</sup> européens.

**À partir d'octobre 2023, plusieurs facteurs concomitants ont contribué à une remontée du risque de récession perçu en Europe et aux États-Unis.** D'une part, le déclenchement du conflit au Moyen-Orient a intensifié les incertitudes géopolitiques et a pesé sur la confiance des investisseurs. D'autre part, les conditions financières se sont nettement tendues des deux côtés de l'Atlantique. La hausse des taux longs à des niveaux les plus élevés depuis une décennie, mais aussi l'anticipation par les investisseurs de taux durablement élevés liés à une communication très prudente par les banques centrales (scénario dit *higher*

## G2 Perception des marchés du risque de récession dans deux trimestres en zone euro et aux États-Unis

(en pourcentage)



a) Scénario *higher for longer* : anticipation par les investisseurs de taux durablement élevés.

Lecture : Le 16 mars 2022, dans le sillage du déclenchement de la guerre en Ukraine, la probabilité implicite (déduite du prix des actifs financiers) d'être en récession deux trimestres plus tard était de 43% en zone euro et de 35% aux États-Unis.

Sources : Bloomberg ; modèle PICON (probabilité implicite du risque de contraction de l'activité) au 14 avril 2026, calculs des auteurs.

<sup>5</sup> Suivant la littérature économique (cf. Estrella et Mishkin, 1998) et également nos analyses (cf. graphique 5), nous privilégions l'utilisation de PICON sur un horizon plus court où d'autres classes d'actifs comme les actions et le crédit sont plus susceptibles d'apporter une contribution significative à la prédiction du modèle.

<sup>6</sup> L'obligataire à haut rendement, dit *high yield*, désigne les obligations qui offrent un rendement potentiellement élevé en contrepartie d'un risque de crédit de l'émetteur perçu comme plus important.

for longer) ont renforcé le risque d'un impact retardé significatif du resserrement monétaire initié en 2022 sur l'investissement et la consommation aux États-Unis comme en Europe.

**L'annonce en avril 2025 par les États-Unis de droits de douane importants et généralisés** ainsi que l'amorce d'une nouvelle phase de tensions commerciales ont conduit les investisseurs à juger plus probable l'émergence d'une récession à partir du troisième trimestre 2025, en particulier aux États-Unis. Toutefois, le niveau de risque perçu par les marchés, tel que mesuré par nos indicateurs, n'a pas atteint les seuils d'alerte de 2022, au pic de l'inflation, des tensions géopolitiques en Europe et du resserrement monétaire. À mesure de l'avancée des négociations commerciales, ce risque s'est progressivement résorbé, jusqu'à disparaître de la perception dominante des marchés.

### En zone euro : une estimation de la contribution de chaque classe d'actifs aux épisodes de stress économique

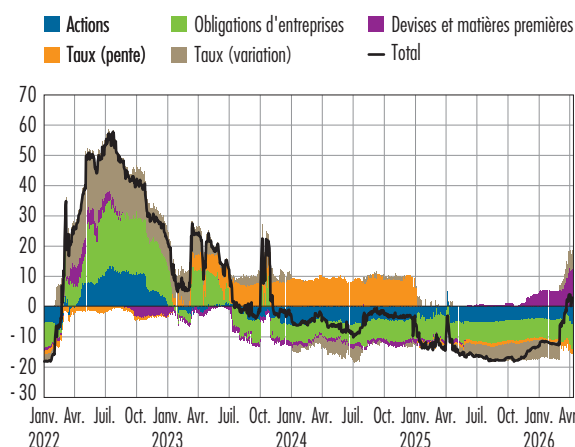
Une simple agrégation permet d'estimer la contribution de chaque variable à chaque prédiction (cf. encadré 2), et donc d'identifier les variables expliquant les pics de risque de retournement économique.

**Sur les quatre épisodes de risque accru de récession identifiés par le modèle, cette analyse livre une interprétation des facteurs qui ont accentué ce risque** (cf. graphique 3) :

- **Début 2022, la forte hausse de la perception du risque** s'est fondée sur la variation rapide des taux d'intérêt des dettes souveraines et d'entreprises de la zone, ainsi que sur la chute des cours boursiers. L'inversion de la pente souveraine allemande en 2022 (c'est-à-dire un rendement des obligations d'État à 10 ans devenu inférieur au rendement à 3 mois) n'a pas joué un rôle déterminant sur cette période ;

### G3 Contributions par classe d'actifs aux prédictions du modèle de récession dans deux trimestres pour la zone euro Écart à la prédiction moyenne historique

(en points de pourcentage)



Lecture : Écart en temps réel à la prédiction moyenne historique (17%), et contribution de chaque classe d'actifs à ce même écart. La perception du risque de récession est d'autant plus marquée qu'elle dépasse ce seuil moyen, matérialisée par 0 sur l'axe des ordonnées.

Sources : Bloomberg ; modèle PICON, calculs des auteurs.

## ENCADRÉ 2

### L'interprétation des modèles avec les valeurs SHAP

Comme d'autres algorithmes d'apprentissage automatique, la flexibilité qu'offrent les forêts aléatoires (cf. encadré 1) a pour contrepartie une moindre interprétabilité. Des approches reconnues pour ouvrir ces « boîtes noires » existent toutefois, comme le SHAP (Shapley *additive explanations* – valeurs explicatives additives), issu des travaux de Shapley (1958), puis appliqué aux forêts aléatoires par Lundberg (2018).

Cette méthode consiste à isoler la contribution de chaque variable en comparant les prédictions avec et sans celle-ci, et en tenant compte de toutes les configurations des autres variables. Autrement dit, une même valeur pour une variable n'aura pas forcément le même impact (et donc la même « valeur SHAP ») selon la date de prédiction considérée, en raison d'interactions différentes avec les autres variables.

- **Les pics d'inquiétude de mars et octobre 2023** se sont en revanche manifestés à travers la classe d'actifs des obligations d'entreprises. L'inversion marquée de la pente allemande contribue à accroître la probabilité implicite de récession d'avril 2023 à janvier 2025, mais se trouve contrebalancée par les autres classes d'actifs sur la même période (cf. *PICON apporte une lecture globale [...]* en partie 3);
- **Le pic d'inquiétude d'avril 2025** était poussé principalement la valorisation des actions.

### 3 PICON est-il un indicateur de stress financier ou économique ?

Parmi les épisodes de stress financier, PICON isole ceux associés à un risque de retournement du cycle économique

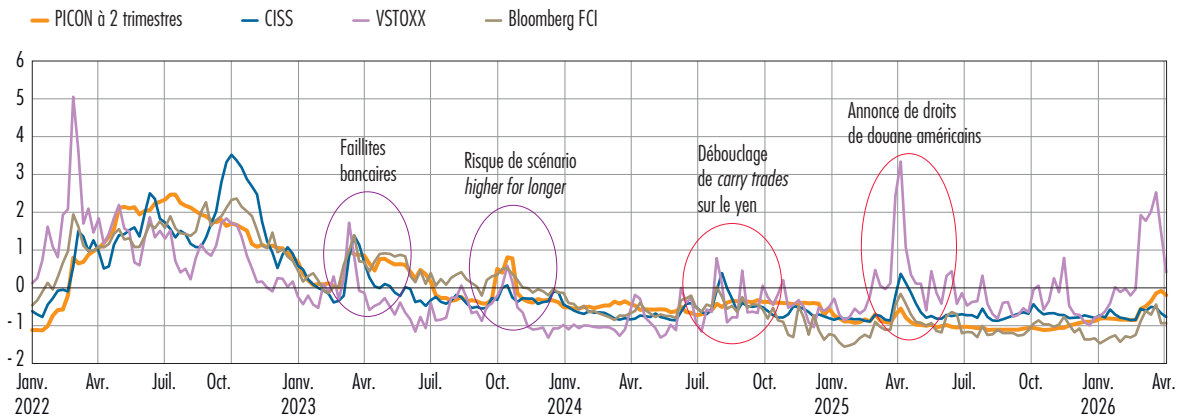
L'analyse des probabilités implicites de récession de PICON met en évidence sa **capacité à identifier des périodes où les turbulences sur les marchés seraient principalement**

**liées aux anticipations de retournement économique. Ces mesures viennent compléter d'autres indices** de stress financier ou de volatilité implicite sur les marchés actions (VIX pour le S&P 500 aux États-Unis, VSTOXX pour le STOXX 600 en Europe)<sup>7</sup> qui ne sont pas nécessairement associés à la dynamique conjoncturelle macroéconomique. Si les tendances sont parfois similaires, tous les épisodes de stress de marchés ne sont pas pour autant liés à une hausse significative du risque de récession, selon PICON.

En zone euro, deux épisodes de stress financier mais non économique se distinguent (cf. graphique 4, cercles rouges) : le court épisode de débouclage d'opérations de *carry trade*<sup>8</sup> sur le yen en août 2024 et les annonces de droits de douane américains en avril 2025, qui ne se sont pas traduits par une hausse du risque de récession à horizon deux trimestres, selon PICON. En revanche, certains épisodes, comme la faillite de la banque américaine SVB en mars 2023 et le risque de scénario *higher for longer* en octobre 2023 (cf. cercles mauve), comportent une augmentation concomitante des indicateurs de stress financier et de PICON.

#### G4 Comparaison des prédictions de PICON en zone euro par rapport à d'autres indicateurs synthétiques de référence

(en nombre d'écart-types)



Lecture : Certains épisodes, comme la faillite de la banque américaine SVB en mars 2023 et le risque de scénario *higher for longer* en octobre 2023, ont vu une augmentation concomitante des indicateurs de stress financier et de PICON. En revanche, le court épisode de débouclage d'opérations de *carry trade* sur le yen en août 2024 et les annonces de droits de douane américains en avril 2025 ne se sont pas traduits par une hausse du risque de récession à horizon deux trimestres selon PICON.

Notes : Les indicateurs sont tous centrés et réduits pour être représentés sous une même échelle.

CISS, *composite indicator of systemic stress* ou indicateur composite de tensions systémiques ; VSTOXX, Euro Stoxx 50 Volatility ; FCI, *financial conditions index* ou indice des conditions financières.

Scénario *higher and longer* : anticipation par les investisseurs de taux durablement élevés.

Sources : Bloomberg ; calculs des auteurs.

<sup>7</sup> Ces indicateurs de volatilité, calculés à partir des options sur les marchés actions, s'interprètent généralement comme des indicateurs de stress financier.

<sup>8</sup> Opération de portage qui consiste ici à emprunter dans une devise à faible taux d'intérêt, puis à placer les fonds levés dans une devise à taux d'intérêt élevé.

Prise depuis janvier 2022, la corrélation de PICON avec les indicateurs de stress financier de la zone euro est positive, mais chute lorsque l'horizon de prédiction augmente, notamment au-delà de trois trimestres aux États-Unis. Ainsi, PICON ressemble davantage à la famille des indicateurs de conditions financières (ou FCI, *financial conditions index*) conçus pour synthétiser de l'information sur l'état futur de l'économie. La corrélation entre PICON et ces indicateurs demeure élevée, même lorsque l'horizon de prédiction s'étend à quatre trimestres en avance (cf. tableau). Aussi, par rapport à ces modèles de conditions financières, un de ses apports réside dans la combinaison des séries de prix de marché à travers une forêt aléatoire plutôt que par d'autres techniques d'agrégation<sup>9</sup>.

### PICON apporte une lecture globale sur toutes les classes d'actifs, surtout à court terme

Dans la prédiction du modèle, la contribution de l'inversion de la courbe des taux allemande en 2023 jusqu'au début

de l'année 2025 s'avère prééminente. Elle concourt jusqu'à 10 points de pourcentage à la probabilité de récession sur cette période (cf. poste « Taux (pente) » en graphique 3 *supra*), mais **ne se suffit pas à elle seule, selon PICON, à signaler un risque élevé de récession au regard de la valorisation des autres classes d'actifs**. Par ailleurs, si le modèle identifie bien un effet de seuil marqué au moment de l'inversion de la courbe, il est susceptible de différencier son impact en fonction de l'évolution d'autres variables financières. Par exemple, l'inversion de la courbe sera d'autant plus associée à un risque de récession qu'elle est accompagnée d'anticipations à la baisse de l'inflation de long terme ou encore de taux de court terme stables ou en baisse (cf. annexe, *Illustrer les interactions entre variables*).

L'influence des pentes des taux croît avec l'horizon de prédiction, pour devenir prépondérante après trois ou quatre trimestres. Aux États-Unis, l'influence des actions dans la prédiction se révèle moindre et cantonnée au

### Coefficients de corrélation entre le modèle PICON et d'autres indicateurs

Comparaison pour différents horizons de prédiction du risque de récession

#### a) Modèles zone euro

	PICON				
	temps réel	dans 1 T	dans 2 T	dans 3 T	dans 4 T
Bloomberg FCI	0,92	0,90	0,90	0,88	0,82
ECB CISS (ZE)	0,92	0,88	0,87	0,71	0,65
VSTOXX	0,56	0,49	0,53	0,40	0,33

#### b) Modèles États-Unis

	PICON				
	temps réel	dans 1 T	dans 2 T	dans 3 T	dans 4 T
GS FCI	0,28	0,40	0,29	0,46	0,62
Chicago Fed FCI	0,64	0,78	0,70	0,83	0,65
ECB CISS (US)	0,78	0,77	0,76	0,76	0,25
OFR FSI	0,75	0,75	0,80	0,79	0,24
VIX	0,54	0,45	0,59	0,48	- 0,15

Lecture : Pour les États-Unis, la corrélation entre l'indice VIX et PICON est forte lorsque ce dernier est utilisé pour la prédiction sur un horizon de court terme (jusqu'à 0,59 dans 2 trimestres), mais devient légèrement négative lorsque le modèle est entraîné sur un horizon de prédiction à moyen terme (- 0,15 dans 4 trimestres).

Notes : En bleu, corrélation positive, de faible à forte; en rose, corrélation négative mais faible.

PICON, probabilité implicite du risque de contraction de l'activité.

GS FCI, Goldman Sachs *financial conditions index* (indice des conditions financières); ECB CISS, European Central Bank *composite indicator of systemic stress*, indicateur composite de tensions systémiques de la Banque centrale européenne (BCE); OFR FSI, Office of Financial Research *financial stress index* (indicateur de tensions financières); VIX, *volatility index* (indicateur de volatilité).

Sources : Bloomberg; calculs des auteurs.

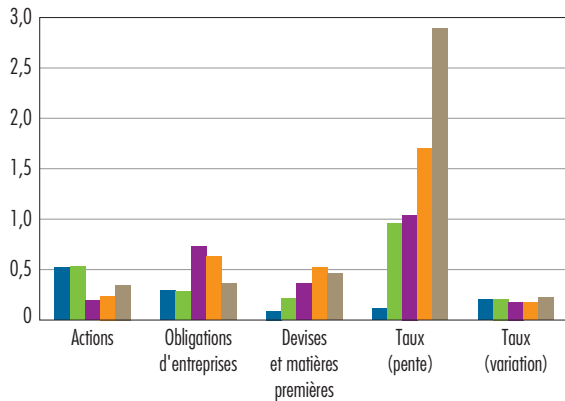
<sup>9</sup> Ces agrégations s'opèrent généralement par la moyenne des sous-indicateurs (après standardisation), parfois en ajustant les poids de manière dynamique à l'aide de méthodes économétriques, ou par une analyse en composantes principales (cf. Hatzius *et al.*, 2010, pour une revue de ces méthodes).

## G5 Contributions moyennes des prédicteurs par classe d'actifs en fonction de l'horizon de prédiction

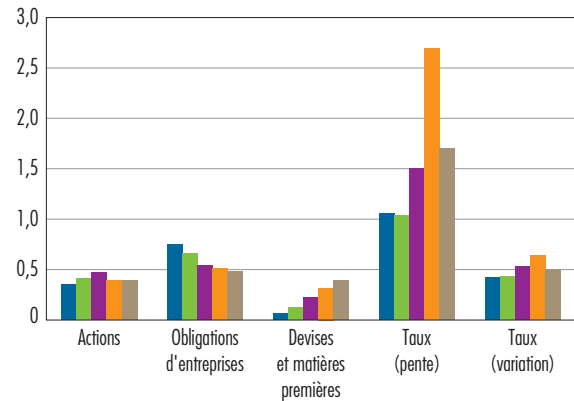
(en points de pourcentage)

■ Ce trimestre ■ Prochain trimestre ■ Dans 2 trimestres ■ Dans 3 trimestres ■ Dans 4 trimestres

### a) Aux États-Unis



### b) En zone euro



Lecture : Aux États-Unis, les variables de pente de taux contribuent chacune en moyenne à 2,9 points de pourcentage à la probabilité prédite de récession dans quatre trimestres.

Notes : Dans chaque classe d'actifs est calculée la moyenne, sur la période 2022-2025, des valeurs absolues des valeurs SHAP, que leurs contributions influent à la baisse ou à la hausse par rapport à la prédiction centrale.

Valeurs SHAP, *Shapley additive explanations* (valeurs explicatives additives) : valeurs qui mesurent la contribution de chaque variable pour une prédiction donnée d'un modèle.

Sources : Bloomberg ; calculs des auteurs.

court terme, conformément aux travaux de Estrella et Mishkin (1998). En zone euro, la pente des taux souverains allemands s'inscrit également au premier plan, mais l'impact d'autres éléments, comme l'écart de rendement Italie-Allemagne et les indices obligataires d'entreprises, s'avère également significatif dans la perception du risque macroéconomique (cf. graphique 5). En effet, le prix de ces obligations contient de l'information sur les anticipations des investisseurs quant au risque de défaut des entreprises emprunteuses, ainsi que sur leur appétence au risque (Favara *et al.*, 2016).

\*\*

L'indicateur de probabilité implicite du risque de contraction de l'activité (PICON) s'inscrit dans la lignée de modèles de mesure du risque perçu par les marchés financiers utilisés par les institutions. Il offre une approche alternative en utilisant une méthode d'estimation non paramétrique, les forêts aléatoires, qui autorise les relations complexes et non linéaires entre classes d'actifs financiers. Sa deuxième caractéristique est de se fonder uniquement sur des données financières quotidiennes, au-delà des

seules courbes de taux souveraines : PICON estime dans quelle mesure le risque de retournement de cycle économique est intégré dans les prix de marché un jour donné.

Sur l'échantillon test 2022-2025, le modèle distingue bien les épisodes de stress liés à des inquiétudes économiques aux États-Unis (scénario *higher for longer*, annonces de hausses de droits de douane par D. Trump) et en zone euro (crise énergétique en 2022, crise bancaire en mars 2023) de tensions purement financières (août 2024). Cela tient à l'approche multiactif et non-paramétrique du modèle.

Le modèle PICON complète la panoplie d'outils utilisés pour suivre les marchés financiers au quotidien. L'effet « boîte noire » des modèles non paramétriques se trouve compensé par l'estimation de la contribution de chaque variable, ce qui renforce l'interprétation des résultats. En exploitant uniquement des données financières quotidiennes, PICON dépasse la seule évaluation du sentiment de marché ; il peut dégager des prix de marché l'appréciation collective des perspectives économiques pour les États-Unis et la zone euro.

## Bibliographie

Beutel (J.), List (S.) et von Schweinitz (G.) (2019)  
« Does machine learning help us predict banking crises? », *Journal of Financial Stability*, vol. 45, décembre.

Breiman (L.) (2001)  
« Random Forests », *Machine Learning*, vol. 45, octobre, p. 5-32.

Bussière (M.) et Lhuissier (S.) (2024)  
« Que signifie l'inversion d'une courbe des taux? », *Bulletin de la Banque de France*, n° 250/3, janvier-février.  
[Télécharger le document](#)

Chavleishvili (S.) et Kremer (M.) (2023)  
« Measuring systemic financial stress and its risks for growth », *Working Paper Series*, Banque centrale européenne, n° 2842, août.

Estrella (A.) et Hardouvelis (G. A.) (1991)  
« The term structure as a predictor of real economic activity », *The Journal of Finance*, vol. 46, n° 2, juin, p. 555-576.

Estrella (A.) et Mishkin (F. S.) (1998)  
« Predicting U.S. recessions: Financial variables as leading indicators », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 80, n° 1, février, p. 45-61.

Favara (G.), Gilchrist (S.), Lewis (K. F.) et Zakrajsek (E.) (2016)  
« Recession risk and the excess bond premium », *FEDS Notes*, Conseil des gouverneurs du Système de réserve fédéral, avril.

Hatzius (J.), Hooper (P.), Mishkin (F. S.), Schoenholtz (K.) et Watson (M. W.) (2010)  
« Financial conditions indexes: A fresh look after the financial crisis », *NBER Working Paper Series*, n° 16150, juillet.

Lundberg (S. M.), Erion (G. G.) et Lee (S.-I.) (2018)  
« Consistent individualized feature attribution for tree ensembles », *arXiv Preprint*, arXiv:1802.03888, février.

Monin (P.) (2017)  
« The OFR financial stress index », *OFR Working Paper*, vol. 17, n° 4, octobre.

Puglia (M.) et Tucker (A.) (2020)  
« Machine learning, the treasury yield curve and recession forecasting », *FEDS Working Paper*, n° 2020-038, Conseil des gouverneurs du Système de réserve fédéral, juin.

Sabes (D.) et Sahuc (J.-G.) (2023)  
« Do yield curve inversions predict recessions in the euro area? », *Finance Research Letters*, vol. 52(C), mars.

## Annexe

### Méthodologie

#### Définition des variables prédictives du modèle

Les valorisations de marchés utilisées comme variables prédictives sont considérées en niveau ou en variation (cf. tableau *infra*). Plusieurs types de variations sont utilisés, avec pour objectif de détecter des retournements ou ruptures de tendances à différents horizons : i) variation de court terme, à savoir valeur *spot* moins moyenne mobile sur 50 jours ; ii) Golden Cross, moyenne mobile 200 jours moins moyenne mobile 50 jours ; iii) Drawdown, écart entre la valeur actuelle et son maximum calculé sur une fenêtre roulante d'un an.

#### Modalités d'entraînement du modèle

Le modèle est « entraîné » sur la période 1990-2021, hors période Covid, type de récession « exogène » difficile à anticiper, quelle que soit la valorisation des classes d'actifs en 2019. Les données de marchés sont quotidiennes, mais les variables prédites (récession) sont trimestrielles et leurs valeurs quotidiennes sont obtenues par reprise de la valeur trimestrielle, chaque jour. La taille effective de notre échantillon n'est donc pas aussi élevée qu'en apparence du fait d'observations qui ne sont pas indépendantes et distribuées à l'identique, mais temporellement dépendantes.

#### Liste des indicateurs utilisés dans les modèles PICON États-Unis et zone euro

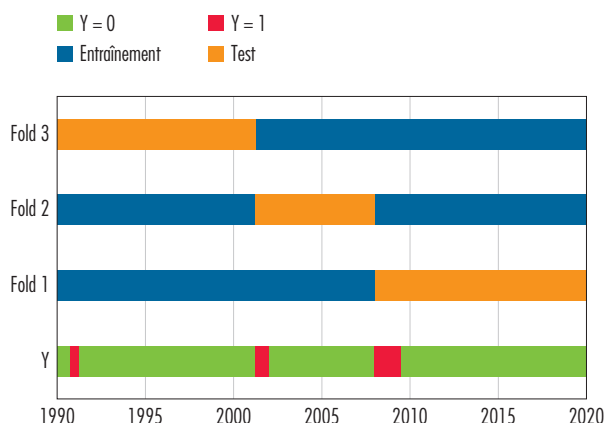
Comparaison pour différents horizons de prédiction du risque de récession

	Classe d'actifs	Transformation(s)
Corporate Investment Grade Option Adjusted Spread	Crédit	Niveau - Variation
Corporate High Yield Option Adjusted Spread		Niveau - Variation
Performance relative HY vs IG		Variation
Pente de taux Bons du Trésor US/allemand 2Y vs 10 Years	Pente de taux	Niveau
Pente de taux Bons du Trésor US/allemand 5Y vs 30Y		Niveau
Pente de taux Bons du Trésor US/allemand 3M vs 10Y		Niveau
Prime de terme billet de trésorerie US/allemand 1Y		Niveau
Prime de terme Bons du Trésor US/allemand 10Y		Niveau
Rendement actuariel Bons du Trésor US/allemand 2Y	Dynamique des taux souverains	Variation
Rendement actuariel Bons du Trésor US/allemand 5Y		Variation
Rendement actuariel Bons du Trésor US/allemand 10Y		Variation
Rendement actuariel Bons du Trésor US/allemand 30Y		Variation
Inflation swap 5Y5Y (modèle ZE seulement)		Variation
Inflation Spread 1Y10Y (modèle ZE seulement)		Variation
BTP et OAT-Bund spread (modèle ZE seulement)		Niveau - Variation
S&P 500/Eurostoxx 50	Actions	Variation (%)
Nasdaq (modèle US seulement)		Variation (%)
Cyclical vs Defensive Index		Variation (%)
Bancaires (KBW Index) / Eurostoxx Banks		Variation (%)
Russell 2000 Index / Eurostoxx Small Caps		Variation (%)
Performance relative IG Credit vs Equity		Variation (%)
EUR/USD	Devises	Variation
AUD/JPY		Variation
EUR/CHF (modèle ZE seulement)		Variation
Silver (argent)	Matières premières	Variation
Brent		Variation

Notes : ZE, zone euro.

Source : Auteurs

### Illustration de la méthode de réglage des hyperparamètres par *k-fold* (en points de pourcentage)



Lecture : Dans le *fold* 1, le modèle est entraîné de 1990 à 2007 inclus, et ses performances sont évaluées sur la période 2008-2019 qui contient au moins un épisode de récession (Y=1).

Note : La variante en *3-fold* présentée ici respecte la dépendance temporelle des données, garantissant à chacune des trois itérations un entraînement du modèle sur des observations couvrant au moins deux récessions, et évaluant la justesse des prédictions sur un échantillon contenant au moins un autre épisode de récession.

Source : Auteurs.

Les hyperparamètres du modèle (nombre d'arbres qui composent la forêt, taille maximale de ces arbres, nombre de variables échantillonnées pour chaque arbre) sont sélectionnés par une procédure de validation croisée<sup>1</sup> qui permet de comparer les prédictions pour plusieurs spécifications ; est retenue celle qui donne les meilleures performances sur une métrique de courbe précision-rappel ou *precision-recall curve* (PR-AUC, AUC désignant l'aire sous la courbe ROC)<sup>2</sup>. En outre, les observations ne sont pas mélangées aléatoirement, mais conservent l'ordre temporel des données. Cette disposition évite toute surestimation de la performance du modèle hors échantillon.

### Illustrer les interactions entre variables

Pour rappel, les forêts aléatoires permettent de lier l'effet d'une variable aux valeurs prises simultanément par d'autres variables, sans pour autant imposer de structure fonctionnelle a priori.

Par exemple, dans le modèle PICON, le rôle joué par l'inversion de la pente de la courbe des taux dépend aussi des autres variables. Lorsque la pente souveraine allemande est inversée de 100 points de base, la contribution à la probabilité implicite de récession dans deux trimestres en zone euro varie entre 3 et 10%, en fonction de la dynamique des taux de court terme ou des anticipations d'inflation (cf. graphique B/a, en page suivante, illustrant le lien entre inversion de la pente souveraine et variation des taux courts souverains). Ainsi, la contribution au risque de récession d'une courbe inversée est d'autant plus élevée que le taux court allemand est orienté à la baisse.

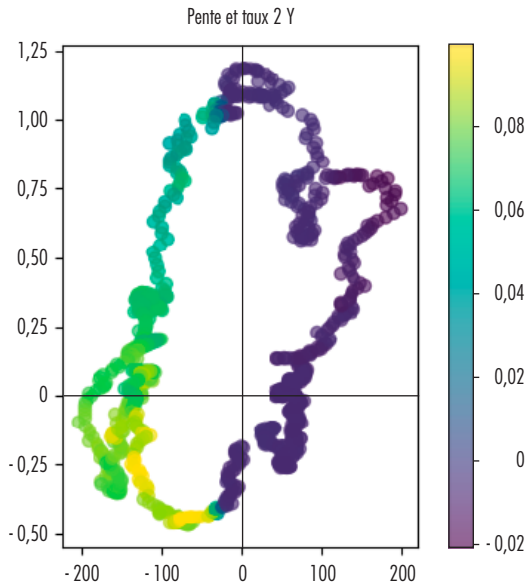
<sup>1</sup> La validation croisée en *k-fold* consiste à entraîner et à évaluer un modèle sur plusieurs combinaisons des données. Cela permet d'obtenir une vision plus réaliste de ses performances en dehors de ses données d'entraînement, et ainsi de sélectionner de manière plus robuste les hyperparamètres.

<sup>2</sup> Cette métrique évalue les niveaux de *precision* et de *recall* en fonction des seuils de décision pour la classification. Autrement dit, elle évalue dans quelle mesure le modèle parvient à identifier la plupart des récessions tout en évitant d'en signaler à tort. Elle permet en outre d'obtenir une image plus fidèle des performances du modèle que la courbe ROC (*receiver operating characteristic*), dans le cas d'un nombre restreint de périodes de récession à prédire.

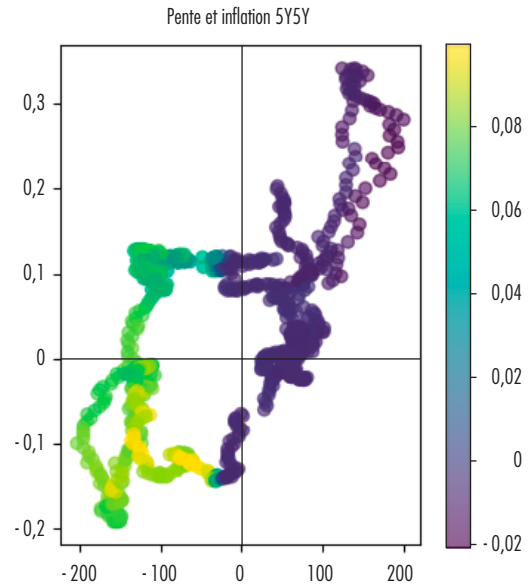
**Contribution de la pente des taux à la prédiction en fonction de la dynamique des taux courts ou des anticipations d'inflation de long terme**

(en abscisse : valeur de la pente des taux allemands [taux 10 ans – taux 3 mois], en points de base ;  
en ordonnée : taux de court terme et anticipations d'inflation à long terme, en points de pourcentage)

a) Impact de la pente selon l'interaction entre la dynamique des taux courts et la valeur de la pente



b) Impact de la pente selon l'interaction entre la dynamique d'inflation de long terme et la valeur de la pente



Échelle colorimétrique : contribution de la pente des taux à la prédiction globale de PICON à horizon 2 trimestres (de 0 à 10%).  
Sources : Bloomberg ; calculs des auteurs.

**Éditeur**

Banque de France

**Secrétaire de rédaction**

Didier Névonnic

**Directeur de la publication**

Claude Piot

**Réalisation**

Studio Création

Direction de la Communication

**Rédaction en chef**

Corinne Dauchy

ISSN 1952-4382

Pour vous abonner aux publications de la Banque de France

<https://www.banque-france.fr/fr/alertes/abonnements>

